取食转基因抗虫棉上的棉蚜对粉舞蛛存活和发育的影响

郭建英[1,2,3,*]，Gabor L. LÖVEI[2]，**万方浩**[3]，**韩召军**[1]

(1. 南京农业大学植物保护学院，南京 210095；2. Flakkebjerg Research Centre，Danish Institute of Agricultural Sciences，DK-4200 Slagelse，Denmark；3. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京　100094)

摘要：本文以转双价基因棉花 SGK321、棉蚜 *Aphis gossypii* 和粉舞蛛 *Alopecosa pulverulenta* 为对象，研究了捕食转基因植物上的植食性害虫对多食性捕食性天敌的影响。结果表明，粉舞蛛可以猎食棉蚜，但单独捕食棉蚜不足以长期维持若蛛的生存和发育；与果蝇混合饲养，能显著提高若蛛存活率和体重。在猎物过量或数量不足的情况下，单独捕食转基因棉或常规棉上的棉蚜，若蛛的生存曲线和体重差异不显著。在猎物过量的条件下，用转基因棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，若蛛的存活率显著高于用常规棉上的棉蚜与果蝇混合的处理；但这两种处理下，若蛛的体重差异不显著。在猎物数量不足的情况下，用转基因棉或常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，若蛛的存活率和体重差异都不显著。可见，转双价基因棉花 SGK321 上的棉蚜对粉舞蛛的存活和发育没有显著的不利影响。

关键词：环境生态风险分析；食物质量；死亡率；发育；天敌

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2006)05-0792-08

Survival and development of the wolf spider *Alopecosa pulverulenta* feeding on cotton aphid *Aphis gossypii* propagated on transgenic cotton

GUO Jian-Ying[1,2,3,*], Gabor L. LÖVEI[2], WAN Fang-Hao[3], HAN Zhao-Jun[1] (1. Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Flakkebjerg Research Centre, Danish Institute of Agricultural Sciences, DK-4200 Slagelse, Denmark; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Beijing 100094, China)

Abstract: Prey-mediated effects of genetically manipulated (GM) plants on polyphagous natural enemies were studied. Transgenic cotton cv. SGK321 (with inserted genes of *Cry1Ac* and *CpTI*) was used as the GM, the cotton aphid *Aphis gossypii* as the model pest, and the wolf spider *Alopecosa pulverulenta* (Clerck) as the generalist natural enemy. Aphids reared on GM vs. non-GM cotton were both poor quality food for *A. pulverulenta* spiderlings, in terms of growth and mortality. But the spiderlings showed higher survival and developed better when they were fed with aphids and fruit flies alternatively. When fed with aphids only, there were no differences in impact whether prey aphids were from GM or non-GM cotton, both in the limited feeding and unlimited feeding regimes. In the unlimited feeding experiment, the spiderlings showed higher survival when they were fed with aphids from GM cotton and fruit flies alternatively, compared with those fed with aphids from non-GM cotton and fruit flies alternatively, but body mass of the spiderlings did not differ between these two treatments. In the limited and mixed feeding experiment, there were no differences in impact whether prey aphids were from GM or non-GM cotton. The results indicate that transgenic cotton cv. SGK321 has no significant adverse effects on the survival and development of the wolf spider through non-target prey cotton aphid.

Key words: transgenic cotton; environmental impact assessment; food quality; mortality; growth; natural enemy

---

基金项目：欧盟项目(COTRAN ICA4-CT-2001-10069)；Daloon Foundation (Denmark, JYG)

作者简介：郭建英，女，1973 年生，北京人，副研究员，主要从事生物安全研究，E-mail：jyguo_caas@hotmail.com

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail：jyguo_caas@hotmail.com

收稿日期 Received：2006-01-18；**接受日期** Accepted：2006-06-14

自 1995 年转基因植物的商品化种植以来，全球转基因作物种类和种植面积持续增加，近年来发展更为迅速，2005 年，经核准的生物技术作物全球种植面积为 9000 万公顷（James，2005）。其中，按作物种类区分，转基因大豆、转基因玉米、转基因棉花和转基因油菜的种植面积分别占 60%，24%，11% 和 5%。按性状区分，转基因抗虫植物的种植面积占 18%，其中以转基因棉花为主；转基因抗虫棉中则以转苏云金杆菌毒蛋白基因（Perlak *et al*.，2001）的转 Bt 基因棉为主。作为世界产棉大国，我国于 1997 年开始种植转 Bt 基因棉花，此后迅速推广种植，2005 年全国转基因抗虫棉种植面积达 330 万公顷，占我国棉花总面积 59%（James，2005）。

转基因抗虫作物在降低农田生态系统农药使用量的同时，也可能对人类健康和生态环境安全产生不利影响（Wolfenbarger and Phifer，2000），因此，转基因作物的实验研究、环境释放和商品化生产都应该建立在严格的法律法规审批基础之上（Conner *et al*.，2003）。目前，转基因作物生物安全性争论的焦点之一是其可能对生态系统服务功能产生影响，如：转基因抗虫作物可能导致田间猎物或寄主数量减少，转基因作物理化特性的变化也可能降低猎物或寄主的质量，从而可能对天敌产生潜在不利影响（Lövei，2001）。因此，转基因作物环境释放前需要通过合理的室内实验进行个案分析（Birch *et al*.，2004）。近十年间，相关研究陆续见诸报道，然而，这些研究仅涉及到少数天敌种类，转基因作物对许多重要捕食性天敌类群的影响还未见研究报道（Lövei and Arpaia，2005）。

狼蛛科（Lycosidae）蜘蛛是全球温带地区农田中常见的多食性捕食性天敌（Crook and Sunderland，1984；Sunderland and Samu，2000；Liu *et al*.，2004）。蜘蛛的多食性特性使其在农田生态系统中具有重要作用（Nyffeler and Benz，1988），是农田重要的天敌类群（Riechert and Lockley，1984；Holland and Thomas，1997）。在田间，由于蜘蛛对猎物的大小（Riechert and Harp，1987）、氨基酸成分（Greenstone，1979）和质量（Mayntz and Toft，2001）都有一定的要求，其食物来源常常受到限制（Riechert and Lockley，1984）。狼蛛尤其是其幼蛛的存活和发育对食物类型和质量高度敏感（Greenstone，1979；Mayntz and Toft，2001），因此适于作为研究多食性捕食性天敌的模式生物，检测转基因植物对天敌的影响。但迄今为止，针对转基因植物环境生态风险评价的室内研究较少涉及该类群（刘志诚等，2003；陈茂等，2005）。

粉舞蛛 *Alopecosa pulverulenta*（Clerck）属狼蛛科，是游猎型捕食性天敌，食性广泛，在自然界主要捕食双翅目昆虫（占猎物来源的 70%），也捕食蚜虫等其它节肢动物（Foelix，1996）。粉舞蛛广泛分布于欧洲和亚洲，发生于草场、花园和 2000 m 以下的林地等，在中欧地区每年发生 1 代，3 ~ 9 月份为活跃期（Dondale and Redner，1979；Platnick，2003；Nentwig *et al*.，2003）。本实验以粉舞蛛 *A. pulverulenta* 作为模式生物，研究捕食转基因植物（棉花）上的植食性害虫棉蚜对狼蛛的影响，旨在揭示猎物介导的转基因植物对天敌的影响。

1　材料与方法

1.1　供试生物

粉舞蛛 *A. pulverulenta*（以下简称蜘蛛）：带卵囊的雌成蛛于 2003 年 5 月 27 日至 6 月 12 日采自丹麦农业科学院 Flakkebjerg 研究中心（丹麦西兰岛 Slagelse 镇附近），计 13 只。初孵若蛛以黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* Meigen（以下简称果蝇）单头饲养（详见下文），待其蜕 1 次皮后作为供试若蛛，来自同一雌成蛛的 2 龄若蛛被平均分配到各处理。

棉蚜 *Aphis gossypii* Glover：无翅成蚜采自在 26℃和自然光照条件下在黄瓜/菊花上保持的室内种群，按不同处理转接至对应棉花品种（详见下文）的 3 叶期棉苗上，建立种群并连续饲养若干代后，取大小基本一致的无翅成蚜或高龄若蚜作为粉舞蛛若蛛的供试饲料。

果蝇 实验中用做对照饲料，可保证粉舞蛛的发育速率、存活率和顺利蜕皮（Mayntz and Toft，2001）。采用残翅型突变品系，以利于若蛛捕食。饲养方法见下文，取个体大小基本一致的成虫作为供试饲料。

1.2　棉花品种及其栽种

2 个棉花品种：（1）SGK321，转双价基因棉，含 Bt 基因 Cry1Ac 和豇豆胰蛋白酶抑制剂（CpTI）基因，文中简称转基因棉（GMO）；（2）石远 321，为 SGK321 所转基因之受体，文中简称常规棉（ORG）。均由中国农业科学院生物技术研究所廊坊科研基地提供。

SGK321 种子以杀菌剂包衣，直接播种于营养钵（1 L，直径 15 cm）中，3 粒种子/钵，出苗后仅留 1 株。播种后盆栽苗即置于防虫笼（70 cm × 70 cm × 80 cm）中，16 钵/笼。盆栽苗通过防虫笼内的自动滴灌系统进行浇水和施肥（Lt 1.4 – 1.6，16N∶6P∶26K），每日

两次，每次 30 min。棉苗长至 3 叶期，接入棉蚜使其繁殖。每两周播种 1 次，保持棉蚜种群。

石远 321 种子催芽(65℃浸种 10 min 后，清水室温浸泡 24 h)后播种，栽种方法同 SGK321。

棉花种植和棉蚜饲养在温度 26 ± 1℃，相对湿度 70% ~ 80%，自然光照的温室内进行。

1.3 饲养方法与条件

果蝇：在塑料管(直径 2 cm，高 6 cm)中以人工饲料饲养，配方为：3.4 g 培养基(Basic Formula 4-24 Carolina medium，Carolina Biological Supply Company，US)，3.6 g 经粉碎的狗粮(Pedigree Original，Masterfoods A/S，Helsinki)，加入 15 ml 蒸馏水，搅拌均匀后静置待其自然凝固，然后加入 3 ~ 5 粒啤酒酵母。每管接入 15 头果蝇成虫，以海绵塞封口，然后置于 25 ± 1℃，16 h:8 h 光照的人工气候箱中培养。

蜘蛛：在塑料管(直径 2 cm，高 6 cm)中饲养，管底铺垫约 2 cm 厚的石膏-木炭混合物(9:1)，使用时每周两次将基底打湿，保持管内湿度。饲养在 23 ± 1℃，相对湿度 65% ± 5%，16 h:8 h 光照的人工气候箱中进行。

1.4 实验设计

因蜘蛛在田间通常处于缺少猎物的饥饿状况(Breymeyer and Józwik，1975)，且蜘蛛为多食性捕食性天敌，为模仿田间实际状况，本实验设计了猎物不足(limited feeding，简称 L)和猎物过量(unlimited feeding，简称 UL)、单一种类猎物饲养和混合饲养(mixed feeding，简称 Mix)、理想猎物(果蝇)和其它猎物(棉蚜)等共计 10 个处理，详述如下：

(1)常规棉上的棉蚜且数量不足(ORG-L)：在蜘蛛养虫管中放入 20 头常规棉上的棉蚜成蚜(以下简称 ORG 棉蚜)，每 4 天更换 1 次；

(2)转基因棉上的棉蚜且数量不足(GMO-L)：在蜘蛛养虫管中放入 20 头转基因棉上的棉蚜成蚜(以下简称 GMO 棉蚜)，每 4 天更换 1 次；

(3)常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，且猎物数量不足(MixORG-L)：在蜘蛛养虫管中放入 20 头 ORG 棉蚜，4 天后更换为 1 头果蝇成虫，以后 ORG 棉蚜和果蝇轮流饲喂，每 4 天更换 1 次；

(4)转基因棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，且猎物数量不足(Mix GMO-L)：在蜘蛛养虫管中放入 20 头 GMO 棉蚜，4 天后更换为 1 头果蝇成虫，以后 GMO 棉蚜和果蝇轮流饲喂，每 4 天更换 1 次；

(5)猎物数量不足的对照(Control-L)：在蜘蛛养虫管中放入 1 头果蝇成虫，每 4 天更换 1 次；

(6)常规棉上的棉蚜且数量过量(ORG-UL)：在蜘蛛养虫管中放入 40 头 ORG 棉蚜，每 4 天更换 1 次，第 12 天起，每次 60 头 ORG 棉蚜；

(7)转基因棉上的棉蚜且数量过量(GMO-UL)：在蜘蛛养虫管中放入 40 头 GMO 棉蚜，每 4 天更换 1 次；第 12 天起，每次 60 头 GMO 棉蚜；

(8)常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，且猎物数量过量(MixORG-UL)：在蜘蛛养虫管中放入 40 头 ORG 棉蚜，4 天后更换为 2 头果蝇成虫，8 天时 40 头 ORG 棉蚜，12 天时 3 头果蝇，16 天时 60 头 ORG 棉蚜，20 天时 3 头果蝇，24 天时 60 头 ORG 棉蚜，28 天时 4 头果蝇，32 天时 60 头 ORG 棉蚜，36 天时 5 头果蝇，40 天时 60 头 ORG 棉蚜，44 天时 5 头果蝇，48 天时 60 头 ORG 棉蚜，52 天时 6 头果蝇，56 天时 60 头 ORG 棉蚜；

(9)转基因棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，且猎物数量过量(Mix GMO-UL)：在蜘蛛养虫管中放入 40 头 GMO 棉蚜，4 天后更换为 2 头果蝇成虫，8 天时 40 头 GMO 棉蚜，12 天时 3 头果蝇，16 天时 60 头 GMO 棉蚜，20 天时 3 头果蝇，24 天时 60 头 GMO 棉蚜，28 天时 4 头果蝇，32 天时 60 头 GMO 棉蚜，36 天时 5 头果蝇，40 天时 60 头 GMO 棉蚜，44 天时 5 头果蝇，48 天时 60 头 GMO 棉蚜，52 天时 6 头果蝇，56 天时 60 头 GMO 棉蚜；

(10)猎物数量过量的对照(Control-UL)：在蜘蛛养虫管中放入 2 头果蝇成虫，每 4 天更换 1 次，第 12 天起，每次 3 头果蝇，第 24 天起，每次 4 头果蝇，第 36 天起，每次 5 头果蝇，第 48 天起，每次 6 头果蝇。

1.5 实验方法

实验从 2 龄若蛛开始，每处理 30 ~ 31 头若蛛，持续观测 8 周。按上述处理每 4 天更换 1 次猎物，并向养虫管内适当补充水份。每天观察 1 次，记录若蛛的存活和蜕皮状况。若蛛体重每 8 天用感量为 0.0005 mg 的电子天平称量 1 次，蜕皮当日也称量 1 次。

1.6 数据分析

采用 log-rank test 分析存活率末次观测值大于零的生存曲线数据(Pyke and Thompson，1986)；采用 Kolmogorov-Smirnor test 分析存活率最终为零的生存曲线数据(如 GMO-L，ORG-L，GMO-UL 和 ORG-UL)(Pyke and Thompson，1986；Sokal and Rohlf，1995)。

若蛛体重数据采用 Dixon's test 和 Grubbs' test 进行奇异值检验(Sokal and Rohlf，1995)，去除奇异值的若蛛数据经对数转换(log-transformation)后，经

Kolmogorov-Smirnov test 检验（Sokal and Rohlf，1995）符合正态分布（数据略），因此采用单因素方差分析（one-way ANOVA：LSD 多重比较）比较不同猎物类型对若蛛体重的影响。在若蛛体重及体重增长曲线中，分别比较猎物数量不足的 5 个处理和猎物数量过量的 5 个处理第 8 天、第 24 天、第 40 天和第 56 天的若蛛体重。以上数据分析用统计软件 SPSS 10.0.1 进行（卢纹岱，2002）。

2　结果与分析

2.1　取食转基因棉上的棉蚜且猎物数量不足对粉舞蛛若蛛存活的影响

猎物数量不足的 5 个处理间，粉舞蛛若蛛的生存曲线差异显著（log-rank test，$df = 4$，$LR = 175.377 > \chi^2_{(4, 0.05)} = 9.488$）（图 1）。

在猎物数量不足的情况下，单独捕食转基因棉或常规棉上的棉蚜，都不足以长期维持粉舞蛛若蛛的生存，两条生存曲线差异不显著（Kolmogorov-Smirnor test，$n_1 = 30$，$n_2 = 30$，$D = 0.200 < D_{0.05} = 0.351$）；但都与仅以果蝇饲养的对照差异显著（转基因棉上的棉蚜处理与对照：log-rank test，$df = 1$，$LR = 73.477 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$；常规棉上的棉蚜处理与对照：$LR = 74.498$）（图 1）。

与用转基因棉上的棉蚜单独饲养相比，与果蝇混合饲养，能显著提高若蛛的存活率（log-rank test，$df = 1$，$LR = 49.918 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$），但与仅以果蝇饲养的对照相比，生存曲线差异显著（log-rank test，$df = 1$，$LR = 6.009 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$）。常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，也能显著提高若蛛的存活率（log-rank test，$df = 1$，$LR = 66.616 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$），且与仅以果蝇饲养的对照相比，生存曲线差异不显著（log-rank test，$df = 1$，$LR = 2.106 < \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$）（图 1）。

但用转基因棉或常规棉上的棉蚜，与果蝇混合饲养，若蛛的生存曲线差异不显著（log-rank test，$df = 1$，$LR = 1.705 < \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$）（图 1）。

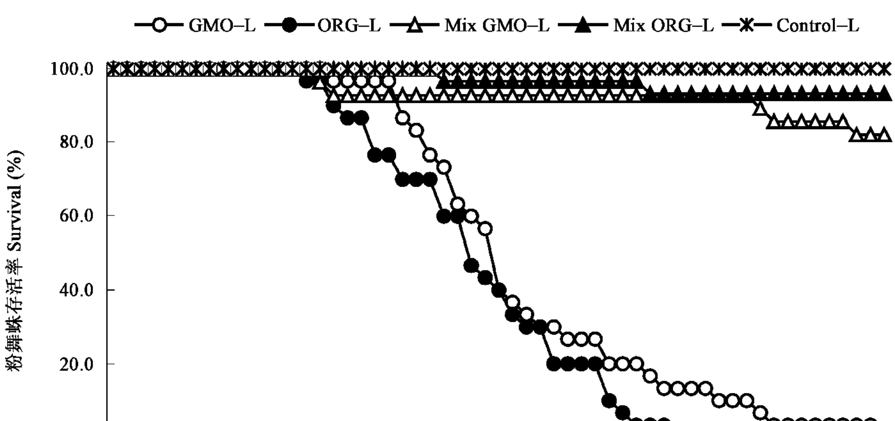


图 1　不同猎物组合且猎物数量不足条件下粉舞蛛若蛛的生存曲线

Fig. 1　Survivorship curves of *Alopecosa pulverulenta* spiderlings under limited feeding regimes

GMO-L，ORG-L，Mix GMO-L，Mix ORG-L，Control-L 的含义见 1.4 实验设计；下同。Meanings for GMO-L，ORG-L，Mix GMO-L，Mix ORG-L，and Control-L refer to the experimental design in the subsection 1.4；the same for the following figures.

2.2　取食转基因上的棉蚜且猎物数量过量对粉舞蛛若蛛存活的影响

猎物数量过量的 5 个处理间，粉舞蛛若蛛的生存曲线差异显著（log-rank test，$df = 4$，$LR = 150.636 > \chi^2_{(4, 0.05)} = 9.488$）（图 2）。

在猎物过量的情况下，单独捕食转基因棉或常规棉上的棉蚜，都不足以长期维持粉舞蛛若蛛的生存，两条生存曲线差异不显著（Kolmogorov-Smirnor test，$n_1 = 28$，$n_2 = 30$，$D = 0.138 < D_{0.05} = 0.357$）；但都与仅以果蝇饲养的对照差异显著（转基因棉上的棉蚜处理与对照：log-rank test，$df = 1$，$LR = 57.953 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$；常规棉上的棉蚜处理与对照：$LR = 58.644$）（图 2）。

与用转基因棉上的棉蚜单独饲养相比，与果蝇混合饲养，能显著提高若蛛的存活率（log-rank test，$df = 1$，$LR = 65.361 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$），且与仅以

果蝇饲养的对照相比,生存曲线差异不显著(log-rank test, $df = 1$, $LR = 1.112 < \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$)。常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养,也能显著提高若蛛的存活率(log-rank test, $df = 1$, $LR = 45.221 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$),且与仅以果蝇饲养的对照相比,生存曲线差异不显著(log-rank test, $df = 1$, $LR = 2.615 < \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$)(图 2)。

用转基因棉上的棉蚜与果蝇混合饲养,若蛛的生存率显著高于用常规棉上的棉蚜与果蝇混合的处理(log-rank test, $df = 1$, $LR = 6.350 > \chi^2_{(1, 0.05)} = 3.840$)(图 2)。

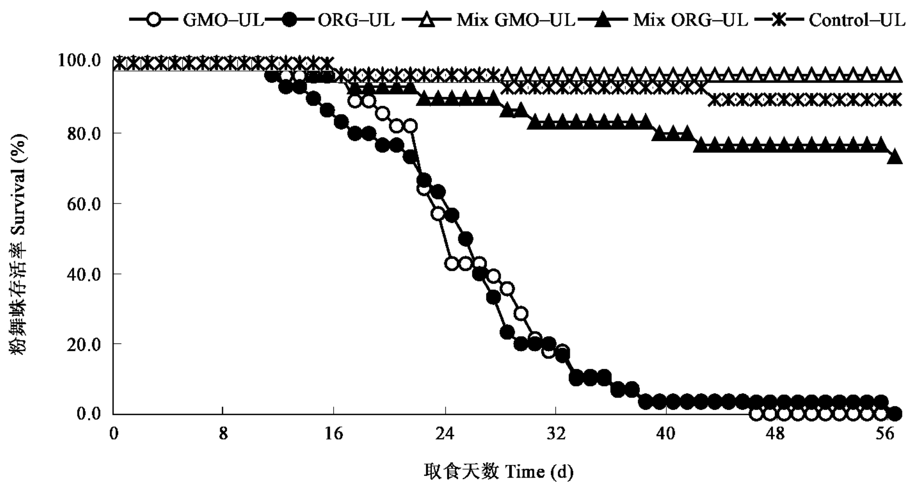


图 2 不同猎物组合且猎物数量过量条件下粉舞蛛若蛛的生存曲线

Fig. 2 Survivorship curves of *Alopecosa pulverulenta* spiderlings under unlimited feeding regimes

2.3 取食转基因上的棉蚜且猎物数量不足对粉舞蛛若蛛体重的影响

经比较,实验起始时,5 个处理间 2 龄若蛛体重差异不显著(ANOVA: $F = 0.607$, $df = 4, 145$, $P = 0.461$),因此各处理间具有可比性。

猎物数量不足的 5 个处理间,粉舞蛛若蛛的体重增长差异显著,实验第 8 天(ANOVA: $F = 10.381$, $df = 4, 145$, $P < 0.001$)、第 24 天(ANOVA: $F = 94.545$, $df = 4, 122$, $P < 0.001$)、第 40 天(ANOVA: $F = 50.446$, $df = 4, 84$, $P < 0.001$)和第 56 天(ANOVA: $F = 55.806$, $df = 2, 78$, $P < 0.001$),5 个处理间的若蛛体重均具有显著差异(图 3)。

在猎物数量不足的情况下,单独捕食转基因棉或常规棉上的棉蚜,粉舞蛛若蛛的体重在第 8 天(t-test: $t = 0.394$, $df = 58$, $P = 0.695$)和第 24 天(t-test: $t = 0.058$, $df = 39$, $P = 0.954$)差异均不显著,但均显著低于仅以果蝇饲养的对照(t-test: $P < 0.001$)(图 3)。自第 40 天起由于两处理的存活个体数量均较少,不足以进行方差分析。

与用转基因棉上的棉蚜单独饲养相比,与果蝇混合饲养,能显著提高若蛛体重,实验第 8 天(t-test: $t = 4.124$, $df = 58$, $P < 0.001$)、第 24 天(t-test: $t = 10.619$, $df = 48$, $P < 0.001$)和第 40 天(t-test: $t = 8.020$, $df = 28$, $P < 0.001$)两处理间若蛛体重均差异显著。但与仅以果蝇饲养的对照相比,以转基因棉上的棉蚜与果蝇混合饲养的若蛛体重在实验第 8 天无明显差异(t-test: $t = 1.199$, $df = 58$, $P = 0.235$),在第 24 天(t-test: $t = 4.649$, $df = 55$, $P < 0.001$)、第 40 天(t-test: $t = 7.404$, $df = 54$, $P < 0.001$)和第 56 天(t-test: $t = 8.078$, $df = 51$, $P < 0.001$)则显著低于对照(图 3)。

常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养,也能显著提高若蛛体重,实验第 8 天(t-test: $t = 2.236$, $df = 58$, $P = 0.029$)和第 24 天(t-test: $t = 8.803$, $df = 45$, $P < 0.001$)若蛛体重均差异高于用常规棉上的棉蚜单独饲养的处理。但与仅以果蝇饲养的对照相比,以常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养的若蛛体重在实验第 8 天(t-test: $t = 2.502$, $df = 58$, $P = 0.015$),在第 24 天(t-test: $t = 6.933$, $df = 57$, $P < 0.001$)、第 40 天(t-test: $t = 8.709$, $df = 56$, $P < 0.001$)和第 56 天(t-test: $t = 10.866$, $df = 56$, $P < 0.001$)均显著低于对照(图 3)。

但用转基因棉或常规棉上的棉蚜,与果蝇混合饲养,若蛛的体重在实验第 8 天(t-test: $t = 1.296$, $df = 58$, $P = 0.200$)、第 24 天(t-test: $t = 1.568$, $df = 54$, $P = 0.123$)、第 40 天(t-test: $t = 1.722$, $df = 52$,

$P=0.091$)和第 56 天(t-test：$t=1.105$，$df=49$，$P=0.274$)差异不显著(图 3)。

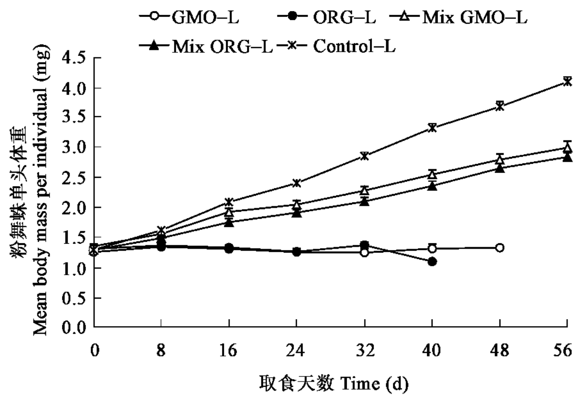


图 3　不同猎物组合且猎物数量不足条件下粉舞蛛若蛛的体重增长曲线

Fig. 3　Body mass of *Alopecosa pulverulenta* spiderlings under limited feeding regimes

图中数据为平均值 ± 标准误；下同。The data in the figure are mean ± SE; the same for Fig. 4.

2.4　取食转基因上的棉蚜且猎物数量过量对粉舞蛛若蛛体重的影响

经比较，实验起始时，5 个处理间 2 龄若蛛体重差异不显著(ANOVA：$F=0.658$，$df=4,143$，$P=0.658$)，因此各处理间具有可比性。

猎物数量过量的 5 个处理间，粉舞蛛若蛛的体重增长差异显著，实验第 8 天(ANOVA：$F=22.745$，$df=4,144$，$P<0.001$)、第 24 天(ANOVA：$F=112.157$，$df=4,109$，$P<0.001$)、第 40 天(ANOVA：$F=20.609$，$df=4,79$，$P<0.001$)和第 56 天(ANOVA：$F=10.853$，$df=2,75$，$P<0.001$)(图 4)。

在猎物数量过量的情况下，单独捕食转基因棉或常规棉上的棉蚜，粉舞蛛若蛛的体重在第 8 天(t-test：$t=0.630$，$df=57$，$P=0.531$)和第 24 天(t-test：$t=0.409$，$df=28$，$P=0.686$)差异均不显著，且均显著低于仅以果蝇饲养的对照(t-test：$P<0.001$)(图 4)。自第 40 天起由于两处理的存活个体数量均较少，不足以进行方差分析。

与用转基因棉上的棉蚜单独饲养相比，与果蝇混合饲养，能显著提高若蛛体重，实验第 8 天(t-test：$t=6.625$，$df=58$，$P<0.001$)和第 24 天(t-test：$t=12.151$，$df=40$，$P<0.001$)两处理间若蛛体重均差异显著。但与仅以果蝇饲养的对照相比，以转基因棉上的棉蚜与果蝇混合饲养的若蛛体重在实验第 8 天无明显差异(t-test：$t=0.512$，$df=59$，$P=0.611$)，在第 24 天(t-test：$t=5.115$，$df=57$，$P<0.001$)、第 40 天(t-test：$t=5.651$，$df=56$，$P<0.001$)和第 56 天(t-test：$t=3.832$，$df=54$，$P<0.001$)则显著低于对照(图 4)。

常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养，也能显著提高若蛛体重，实验第 8 天(t-test：$t=7.642$，$df=57$，$P<0.001$)和第 24 天(t-test：$t=13.329$，$df=41$，$P<0.001$)若蛛体重均差异高于用常规棉上的棉蚜单独饲养的处理。但与仅以果蝇饲养的对照相比，以常规棉上的棉蚜与果蝇混合饲养的若蛛体重在实验第 8 天没有显著差异(t-test：$t=0.120$，$df=57$，$P=0.905$)，在第 24 天(t-test：$t=5.370$，$df=52$，$P<0.001$)、第 40 天(t-test：$t=5.303$，$df=50$，$P<0.001$)和第 56 天(t-test：$t=3.442$，$df=46$，$P<0.001$)则均显著低于对照(图 4)。

但用转基因棉或常规棉上的棉蚜，与果蝇混合饲养，若蛛的体重在实验第 8 天(t-test：$t=0.501$，$df=58$，$P=0.618$)、第 24 天(t-test：$t=0.665$，$df=53$，$P=0.509$)、第 40 天(t-test：$t=0.944$，$df=52$，$P=0.350$)和第 56 天(t-test：$t=0.569$，$df=50$，$P=0.572$)差异均不显著(图 4)。

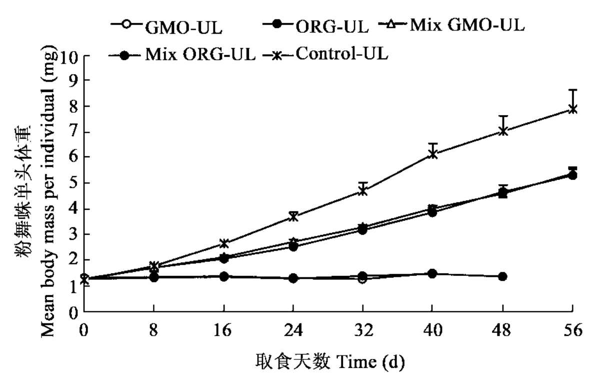


图 4　不同猎物组合且猎物数量过量条件下粉舞蛛若蛛的体重增长曲线

Fig. 4　Body mass of *Alopecosa pulverulenta* spiderlings under unlimited feeding regimes

3　讨论

本文研究表明，粉舞蛛 *A. pulverulenta* 可以猎食棉蚜，但棉蚜并不适宜粉舞蛛的发育。单独捕食棉蚜不足以长期维持粉舞蛛若蛛的生存和发育。与果蝇混合饲养，能显著提高若蛛存活率和体重。

与取食常规棉上的棉蚜相比，取食转 Bt + CpTI 双价基因棉花上的棉蚜可提高幼蛛的存活率，幼蛛发育不受影响，在猎物过量或不足的条件下都如此，

在混合饲养和单一种类猎物饲养的条件下也都如此。表明虽然对于粉舞蛛若蛛的发育棉蚜并不是适宜的猎物，但较之常规棉，粉舞蛛反而更能耐受转基因棉上的棉蚜。转 Bt 基因棉花上的棉蚜中可检测到 Bt 蛋白(Zhang *et al*., 2006)，结合本研究结果，可见，粉舞蛛对猎物中的 Bt 蛋白不敏感，至少对棉蚜中的 Bt 蛋白不敏感，转基因棉上的棉蚜对粉舞蛛若蛛存活和发育没有显著不利影响。

Zhang 等(2006)报道还表明，取食转基因棉花上的棉蚜对龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Thunberg 幼虫期死亡率和成虫产卵量无显著影响，但幼虫发育历期缩短，成虫畸形的概率增大。其结果与本文转基因棉花上的棉蚜对蜘蛛影响结论有较大不同。可见，同种植物上的同种猎物对不同种类捕食性天敌的影响可能大不相同。当然，由于两者研究结果基于不同的实验设计，研究结果不宜直接进行比较。

目前，针对转基因植物对蜘蛛的环境生态风险评价的室内研究较少。有研究表明，转 Bt(Cry1Ab)基因水稻对拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* Boesenberg *et* Strand 的捕食作用无显著影响(刘志诚等，2003；陈茂等，2005)；Cry1Ab 蛋白可通过转基因水稻转移至植食性害虫褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål，再转移至拟水狼蛛，并存在明显的富集现象，但拟水狼蛛中肠酶对猎物中的 Cry1Ab 蛋白具有降解作用(陈茂等，2005)。可见，转 Bt 基因水稻和转 Bt 基因棉花中的 Bt 杀虫蛋白经过非靶标害虫如褐飞虱和棉蚜的取食，通过食物链的营养流，在短期内对狼蛛科天敌均未产生显著不利影响。转基因抗虫作物对蜘蛛类影响的长期效应，有待进一步评价研究。

本文研究方法可用于猎物质量对蜘蛛发育生物学特性影响的相关研究。转基因植物环境释放前的环境生态风险评价中，对有益生物影响的评价应包括蜘蛛这一类群。本文结果表明，猎物过量或数量不足的影响不同，混合饲养和单一种类猎物饲养的影响也不同，因此，在转基因植物的环境生态风险评价的实验设计中，应模拟田间实际状况，综合考虑上述因素进行(Lövei, 2001)。

致谢 河北大学的宋大祥院士，英国自然资源研究所(Natural Resources Institute)的 Derek Russell 教授，丹麦 Aarhus 大学的 S. Toft 博士，丹麦农业科学院的 J. Jakobsen 博士，G. Christiansen 女士和 L. Christensen 女士对本研究给予了大力支持，并提出宝贵意见，在此一并表示感谢。

参考文献(References)

Birch ANE, Wheatley R, Anyango B, Arpaia S, Capalbo D, Emana Getu D, Fontes E, Kalama P, Lelmen E, Lövei GL, Melo IS, Muyekho F, Ngi-Song A, Ochieno D, Ogwang J, Pitelli R, Schuler T, Sétamou M, Sithanantham S, Smith J, Son Nguyen Van, Songa J, Sujii E, Tan Tran Quang, Wan FH, Hilbeck A, 2004. Biodiversity and Non-Target Impacts: a Case Study of Bt Maize in Kenya. In: Hilbeck A, Andow DA eds. Environmental Risk Assessment of Transgenic Organisms: A Case Study of Bt Maize in Kenya. U.K.: CABI International. 117-185.

Breymeyer A, Józwik J, 1975. Consumption of wandering spiders (Lycosidae, Araneae) estimated in laboratory conditions. *Bulletin de l' Académie Polonaise des Sciences*, 2: 93-99.

Chen M, Ye GY, Lu XM, Hu C, Peng YF, Altosaar I, 2005. Biotransfer and bioaccumulation of Cry1Ab insecticidal protein in rice plant-brown planthopper-wolf spider food chain. *Acta Entomologica Sinica*, 48(2): 208-213. [陈茂，叶恭银，卢新民，胡萃，彭于发，舒庆尧，Altosaar I, 2005. Cry1Ab 杀虫蛋白在水稻-褐飞虱-拟水狼蛛食物链中转移与富集. 昆虫学报，48(2): 208-213]

Conner AJ, Glare TR, Nap JP, 2003. The release of genetically modified crops into the environment - Part Ⅱ. Overview of ecological risk assessment. *Plant Journal*, 33: 19-46.

Crook NE, Sunderland KD, 1984. Detection of aphid remains in predatory insects and spiders by ELISA. *Annals of Applied Biology*, 105: 413-422.

Dondale CD, Redner JH, 1979. Revision of the wolf spider genus *Alopecosa* in North America (Araneae: Lycosidae). *Canadian Entomologist*, 111: 1 033-1 056.

Foelix RF, 1996. Biology of Spiders. 2nd ed. Oxford University Press, USA. 336 pp.

Greenstone MH, 1979. Spider feeding behaviour optimises dietary essential amino acid composition. *Nature*, 282: 501-503.

Holland JM, Thomas SR, 1997. Quantifying the impact of polyphagous invertebrate predators in controlling cereal aphids and in preventing wheat yield and quality reductions. *Annals of Applied Biology*, 131: 375-397.

James C. 2005. Executive Summary of Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2005. ISAAA Briefs No. 34. ISAAA: Ithaca, NY.

Liu WX, Wan FH, Guo JY, Lövei GL, 2004. Spiders and their seasonal dynamics in transgenic Bt- vs. conventionally managed cotton fields in north-central China. In: Samu F, Szinetár Cs eds. European Arachnology 2002. Proceedings of the 20th European Colloquium of Arachnology. Hungary: Plant Protection Institute and Berzsenyi College, Budapest. 337-342.

Liu ZC, Ye GY, Fu Q, Zhang ZT, Hu C, 2003. Indirect impact assessment of transgenic rice with cry1Ab gene on predations by the wolf spider, *Pirata subpiraticus*. *Chinese Journal of Rice Sciences*, 17(2): 175-178. [刘志诚，叶恭银，傅强，张志涛，胡萃，2003. 转 cry1Ab 基因水稻对拟水狼蛛捕食作用间接影响的评价. 中国水稻科学，17(2): 175-178]

Lövei GL, 2001. Ecological risks and benefits of transgenic plants. In:

Proceedings of the 54th Conference of the New Zealand Plant Protection Society. 93 – 100.

Lövei GL, Arpaia S, 2005. The impact of transgenic plants on natural enemies: a critical review of laboratory studies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 114: 1 – 14.

Lu WD, 2002. SPSS for Windows Data Analysis. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 572 pp. [卢纹岱, 2002. SPSS for Windows 统计分析. 北京: 电子工业出版社. 572 页]

Mayntz D, Toft S, 2001. Nutrient composition of the prey's diet affects growth and survivorship of a generalist predator. *Oecologia*, 127: 207 – 213.

Nentwig W, Haenggi A, Kropf C, Bilck T, 2003. Central European Spiders – Determination Key. Online at: http://www.araneae.unibe.ch. Accessed 31 Dec. 2004.

Nyffeler M, Benz G, 1988. Feeding ecology and predatory importance of wolf spiders (*Pardosa* spp.) (Araneae, Lycosidae) in winter wheat fields. *Journal of Applied Entomology*, 106: 123 – 134.

Perlak F, Oppenhuizen M, Gustafson K, Voth R, Sivasupramaniam S, Heering D, Carey B, Ihrig RA, Roberts JK, 2001. Development and commercial use of Bollgard [SUP] cotton in the USA-early promises versus today's reality. *Plant Journal*, 27: 489 – 502.

Platnick NI, 2003. The World Spider Catalogue, Version 5.0. American Museum of Natural History. Online at http://research.amnh.org/entomology/spiders/catalog/index.html. Accessed on 31 Dec. 2004.

Pyke DA, Thompson JN, 1986. Statistical analysis of survival and removal experiments. *Ecology*, 67: 240 – 245.

Riechert SE, Harp JM, 1987. Nutritional ecology of spiders. In: Slansky F Jr, Rodriguez JG eds. Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders, and Related Invertebrates. Wiley, New York. 645 – 672.

Riechert SE, Lockley T, 1984. Spiders as biological control agents. *Annual Review of Entomology*, 29: 299 – 320.

Sokal RR, Rohlf FJ, 1998. Biometry. 3rd ed. W. H. Freeman and Company, New York. 887 pp.

Sunderland KD, Samu F, 2000. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95: 1 – 13.

Wolfenbarger LL, Phifer PR, 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290: 2 088 – 2 093.

Zhang GF, Wan FH, Lövei GL, Liu WX, Guo JY, 2006. Transmission of Bt-toxin to the predator *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) through its aphid prey feeding on transgenic Bt-cotton. *Environmental Entomology*, 35(1): 143 – 150.

(责任编辑：袁德成)